Lane Medical Library

(AUS DEM PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTE DER UNIVERSITÄT BERN.)

DER RESPIRATORISCHE GASWECHSEL BEI RUHE UND ARBEIT AUF BERGEN.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

DER

HOHEN MEDICINISCHEN FACULTÄT

DER

UNIVERSITÄT BERN

VORGELEGT

VON

EMIL BÜRGI,

ARZT IN BERN.

ABDRUCK AUS DEM ARCHIV FÜR ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE
PHYSIOLOG. ABTHEILUNG. JAHRG. 1900.

LEIPZIG,
VEIT & COMP.
1900.

(AUS DEM PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTE DER UNIVERSITÄT BERN.)

DER

RESPIRATORISCHE GASWECHSEL BEI RUHE UND ARBEIT AUF BERGEN.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

DER

HOHEN MEDICINISCHEN FACULTÄT

DER

UNIVERSITÄT BERN

VORGELEGT

VON

EMIL BÜRGI,
ARZT IN BERN.

LEIPZIG,
VEIT & COMP.
1900.

Diese Arbeit erscheint im
Archiv für Anatomie und Physiologie. 1900. Physiologische Abtheilung.

Auf Prof. KRONECKER's Antrag von der medicinischen Facultät in Bern als Dissertation angenommen.

Bern, den 22. Februar 1899. Der Decan: Prof. Dr. KOCHER.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

MEINEM VATER.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA40153505_0043

Seit Gruber[1] im physiologischen Institute der Universität Bern nachgewiesen hat, dass der Gaswechsel durch die Athmung nicht einzig und allein von dem Maasse der geleisteten Arbeit abhängig ist, sondern durch Trainirung vermindert werden kann, sind zahlreiche Untersuchungen über diesen Gegenstand angestellt worden.

Zunächst hat N. Zuntz[2] $1^1/_2$ Jahre nach Gruber, ohne dessen vorläufige Mittheilung im Correspondenzblatte für Schweizer Aerzte zu kennen, ähnliche Beobachtungen veröffentlicht.

Schnyder,[3] der an Arbeitern und Reconvalescenten experimentirte, kam zu folgenden Schlüssen:

„1. Der durch CO_2-Ausscheidung gemessene Stoffumsatz wird während der Arbeit vermehrt, aber dieser Zuwachs wird durch Uebung vermindert.

2. Im gleichen Sinne wie die Uebung wirkt die allgemeine Stärkung.

Hierdurch ist bewiesen, dass nicht allein deshalb sparsamer gearbeitet wird, weil der Geübte Mitbewegungen ausschliesst, sondern dass die Grösse der Anstrengung, nicht aber die Grösse der Leistung den Stoffumsatz bedingt."

---

[1] *Correspondenzblatt für Schweizer Aerzte.* 1888. 15. October. — Siehe auch *Zeitschrift für Biologie.* 1892. S. 466—491.

[2] Verhandlungen der physiologischen Gesellschaft zu Berlin. *Archiv für Anat. u. Physiol.* 1890. Physiol. Abthlg.

[3] *Zeitschrift für Biologie.* 1896. Bd. XXXIII. N. F. Bd. XV. S. 32.

Katzenstein[1] fand, dass die am Gärtner'schen Ergostaten durch Raddrehen geleistete Arbeit grösseren Gaswechsel erfordert als die durch Gehen und Steigen geleistete.

N. Zuntz und Lehmann[2] beobachteten bezüglich der Gewöhnung an das Tornistertragen, „dass leichtes Gepäck (bis zu 22 kg) schon nach wenig Märschen bei allmählicher Steigerung der Anforderungen nicht mehr nachtheilig wirkt, bei schwerem aber, selbst nach längerer Uebungszeit, nur eine sehr geringe Abnahme der Schädigung nachweisbar ist".

Chauveau und Kaufmann[3] constatirten bei ihren Beobachtungen an der Oberlippe des Pferdes, dass Kreislauf und Athmung des nach durchschnittener Sehne in Bewegung gebrachten Hebemuskels grösser seien als diejenigen des ruhenden.

N. Zuntz und Hagemann[4] wiesen an dem Steigarbeit leistenden Pferde nach, „dass der respiratorische Gasverbrauch steigt, wenn die Steilheit des Weges eine gewisse Grenze überschreitet".

Neulich hat noch der jüngere Zuntz[5] den respiratorischen Gaswechsel bei Radfahrern untersucht und gefunden, dass derselbe pro Meter Weglänge beim Radfahren kleiner ist als beim Gehen, pro Stunde Radfahren dagegen viel grösser als pro Stunde Gehen.

Schliesslich verweise ich auf die umfassenden und grundlegenden Arbeiten von N. Zuntz und O. Hagemann.[6]

Alle diese Versuche hatten die alte Anschauung, dass der Sauerstoffverbrauch und die Kohlensäureproduction der arbeitenden Muskeln nur eine Function ihrer Leistungen seien, widerlegt.

Im Sommer 1896 fasste ich, einer Anregung von Hrn. Professor H. Kronecker folgend, den Entschluss, durch genaue Experimente zu bestimmen, inwiefern der respiratorische Gaswechsel des Menschen bei Ruhe und Arbeit auf höheren Bergen sich anders verhält als in der Ebene, und so eine schon von mehreren Forschern aufgeworfene Frage (Anoxhämie Paul Bert's oder Akapnie Mosso's) ihrer Lösung näher zu bringen.

---

[1] Pflüger's *Archiv.* 1891. Bd IL. S. 330.

[2] *Deutsche militärische Wochenschrift.* 1895. S. 7.

[3] Chauveau, *Le travail muscul.* Paris 1894. p. 340 ff. — *Comptes rendus de l'Académie française.* 1887. 16. Mai und 20. Juni. p. 276 u. 293.

[4] N. Zuntz, Lehmann und Hagemann, *Untersuchungen über den Stoffwechsel des Pferdes bei Ruhe und Arbeit.* Berlin 1889.

[5] Leo Zuntz, Ueber den Gasverbrauch und Energieumsatz des Radfahrers. Pflüger's *Archiv.* 1898. Bd. LXX. S. 346.

[6] N. Zuntz und O. Hagemann, *Untersuchungen über den Stoffwechsel des Pferdes bei Ruhe und Arbeit.* Berlin 1898.

Die ersten genaueren Untersuchungen über den Einfluss verschiedenen Luftdruckes auf den Gaswechsel wurden in der pneumatischen Kammer vorgenommen; allein die dabei vorliegenden Bedingungen entsprechen, wie schon durch zahlreiche Forscher nachgewiesen worden ist, den Verhältnissen auf Bergeshöhen nicht vollkommen.

So hat A. Loewy[1] im Jahre 1895 durch zahlreiche Versuche im pneumatischen Cabinet nachgewiesen, dass Sauerstoffverbrauch und Kohlensäureausscheidung durch die Athmung in verdünnter Luft bis zu 440 m Hg für die Arbeitseinheit gleich sind wie unter normalem Luftdruck. Bei noch grösseren Verdünnungen fand er, dass der Sauerstoffverbrauch abnimmt, dagegen die CO_2-Ausscheidung wesentlich wächst, und damit auch der bis dahin unveränderte respiratorische Quotient.

N. Zuntz und Schumburg[2] fanden dagegen bei ihrer kurz darauf (August 1895) unternommenen Monte Rosa-Expedition schon in Höhen, die viel grösserem Luftdruck entsprachen, als in dem pneumatischen Cabinet angewandt wurde, die Athemgrösse, den Sauerstoffverbrauch und die Kohlensäureausscheidung in der Ruhe und während der Arbeit vermehrt. Die im darauffolgenden Jahre ebenfalls am Monte Rosa mit den gleichen Methoden arbeitenden Forscher A. und J. Loewy und Leo Zuntz[3] kamen zu ähnlichen Resultaten. Doch fanden sie in jener Höhe den O-Verbrauch durch die Athmung in der Ruhe nicht immer und während der Arbeit in wechselnder Stärke vermehrt. Die Werthe waren auch individuell verschieden.

Sie schlossen, ihre Resultate mit den von A. Loewy in der pneumatischen Kammer erhaltenen vergleichend, „dass Wirkung der Höhenluft und Wirkung der Luftverdünnung auf den menschlichen Organismus nicht gleichzusetzen sind“. Ob der bestehende Unterschied durch Trainirung in der Höhe verkleinert oder sogar aufgehoben wird, ist von den genannten Forschern nicht genauer untersucht worden. Sowohl N. Zuntz und Schumburg als A. und J. Loewy und Leo Zuntz mussten unter recht schwierigen und schwer vergleichbaren Verhältnissen arbeiten. Ihre sehr schätzenswerthen Resultate verloren dadurch an zwingender Beweiskraft. Jedenfalls aber sind diese Forscher die Ersten, welche die Frage über den respiratorischen Gasverbrauch im Gebirge ernstlich in Angriff genommen und der Lösung nahe gebracht haben.

Wohl die eingehendsten und zusammenfassendsten neueren Untersuchungen (nach Jourdanet und Paul Bert) über das Wesen der Berg-

---

[1] Pflüger's *Archiv.* 1894. Bd. LVIII. S. 409 ff.
[2] *Ebenda.* 1896. Bd. LXIII. S. 461 ff.
[3] *Ebenda.* 1897. Bd. LXVI. S. 477 ff.

krankheit stammen von Angelo Mosso. Sie sind ausführlich beschrieben in der im Jahre 1898 in's Deutsche übersetzten zweiten Auflage seines Buches „Der Mensch auf den Hochalpen“.[1] Er erklärt darin die Bergkrankheit als Folge der CO_2-Verarmung (Akapnie) des menschlichen Körpers, welche die Innervation des Herzens und der Athmung, sowie der vom Vagus versorgten Theile der Nahrungswege schädige.

Ugolino Mosso[2] hat auf dem Monte Rosa gefunden, „dass die CO_2-Ausscheidung durch die Athmung in der Ruhe durch die Luftverdünnung eher vermindert als vermehrt wird“.

Versuche über die CO_2-Ausscheidung bei Muskelthätigkeit wurden von ihm nicht ausgeführt. Man sieht, dass die von verschiedenen Forschern gefundenen Resultate sich zum Theil direct widersprechen.

Aeussere Schwierigkeiten haben die Ausführung meiner Experimente zwei Jahre lang verzögert. Ich wollte durch genaue Vergleichsversuche die Kohlensäuremengen bestimmen, die von ruhenden und arbeitenden Menschen in verschieden hohen Regionen durch die Athmung — und zwar vor und nach der Trainirung in der Höhenluft — ausgeschieden werden. Da durch vielfach variirte Versuche, zumal der Zuntz'schen Schule, nachgewiesen ist, dass der respiratorische Quotient sich bei der Arbeit nicht oder nur unwesentlich ändert, sah ich von einer Bestimmung des verbrauchten Sauerstoffes ab — hierin dem Beispiele Gruber's und Schnyder's folgend.

N. Zuntz und Schumburg[3] haben in ihren Versuchen am Monte Rosa die Kohlensäure in Kalilauge aufgefangen und bestimmt. Sie entnahmen aus der Athmungsluft in der von Geppert und Zuntz beschriebenen Weise Durchschnittsproben und berechneten aus den gefunden Werthen die Gesammtmenge des ausgeschiedenen Gases.

Bei den in Berlin vorgenommenen Versuchen nahmen Zuntz und Schumburg[4] nach ihrer eigenen Darstellung diese Durchschnittsproben genauer, indem sie proportional der Umdrehung der zum Messen des Athmungsvolumens dienenden Gasuhr von jedem Athemzug einen Bruchtheil auffingen. Dies konnten sie in den Bergen nicht, „und wir durften“, heisst es in dieser Arbeit, „hier deshalb darauf verzichten, weil sich in den Vorversuchen herausgestellt hatte, dass wir bei der Arbeit ganz gleichmässig athmeten, und dass auch in der Ruhe wenigstens Schumburg ganz gleichmässige Athmung hatte. Um das ausgeathmete Gas erst dann

[1] A. Mosso, *Der Mensch auf den Hochalpen.* Leipzig 1898.
[2] *Ebenda.* S. 247—276.
[3] A. a. O. S. 461 ff.
[4] A. a. O. S. 466—467.

zu messen und die Probe erst dann aufzufangen, wenn die Respiration gleichmässig geworden war, wurde bei den Ruheversuchen bis zu 10 Minuten, bei den Marschversuchen im Marschiren meist $1^1/_2$ Minuten durch das Athemventil vorgeathmet; unterdessen ging die Luft noch nicht durch den Gasmesser."

A. Mosso[1] kam zu ganz anderen Ergebnissen.

Die Leute, welche er untersuchte, athmeten durchaus ungleichmässig.

Ugolino Mosso[2] leitete bei seinen Ruheversuchen einen Theil der Exspirationsluft zur Bestimmung der Kohlensäure in Barytwasser und berechnete aus diesen Einzelergebnissen, da das Volumen der Athmungsluft bekannt war, die Gesammtmenge.

In Uebereinstimmung mit den Beobachtungen von Angelo Mosso fand ich, dass die Tiefe der Athmungen sich in unregelmässiger Weise ändert. Daher wagte ich nicht, die endgültigen Werthe aus Durchschnittsproben zu berechnen, sondern ich bestimmte die gesammte ausgeschiedene Kohlensäuremenge.

Gruber hatte zu diesem Zwecke den von Mulder[3] als treffliches Absorptionsmittel für Kohlensäure empfohlenen Natronkalk verwendet, da er besser als Kalilauge Erschütterungen verträgt. Auch Gruber hatte die Gesammtmenge der ausgeathmeten Kohlensäure gemessen. Die Exspirationsluft wurde vor dem Eintritt in den Natronkalk mittels Chlorcalcium und Phosphorsäureanhydrid getrocknet.

Da ich im Principe an dieser Methode festhielt, lasse ich hier noch einige Angaben über die Anordnung des von Gruber verwendeten Apparates folgen:

Gruber athmete durch die Nase ein und durch den Mund aus. Während der Ausathmung hielt er die Nasenlöcher mit der linken Hand zu. Seine Exspirationsluft gelangte zuerst durch einen Gummischlauch in ein Luftkissen, das 5 Liter fasste, und das er während der Gehversuche unter dem Arme trug und selbst auspresste. Während dieser Luftraum ausgedrückt wurde, schloss Gruber den Athmungsschlauch mit seinen Schneidezähnen, damit die Exspirationsluft nicht durch denselben zurückströmen könne. Das war unbequem, und Cushny, der Gruber's Arbeit fortsetzte und an Leuten aus dem Volke experimentirte, sah sich genöthigt, zwischen Mund und Reserveluftraum ein Klappenventil einzuschalten, welches die ausgeathmete Luft nicht in den Mund zurückströmen liess. Das Luft-

---

[1] A. a. O. S. 304ff. sowie Tabellen S. 467—474.

[2] A. a. O. S. 267—276.

[3] Mulder, *Zeitschrift für analytische Chemie.* Bd. I. Nr. 2.

kissen wurde zwischen zwei durch Charnire verbundenen Brettern von einem Gehülfen ausgedrückt. Cushny verwendete ebenfalls Natronkalk, den er aber nicht wie Gruber in Röhren, sondern in die Kronecker'schen Absorptionsflaschen füllte. Dieselben sind in Schnyder's Arbeit genauer beschrieben[1] (s. Fig. 1).

Auch ich bediente mich dieser Gefässe und zwar benutzte ich bei jedem Versuche deren vier, von denen je zwei parallel geschaltet waren, so dass die Exspirationsluft erst die vorderen sodann die hinteren Flaschen passiren musste. Dabei wurde die Hauptmenge der Kohlensäure im ersten Paare absorbirt, im zweiten fanden sich regelmässig nur Spuren.

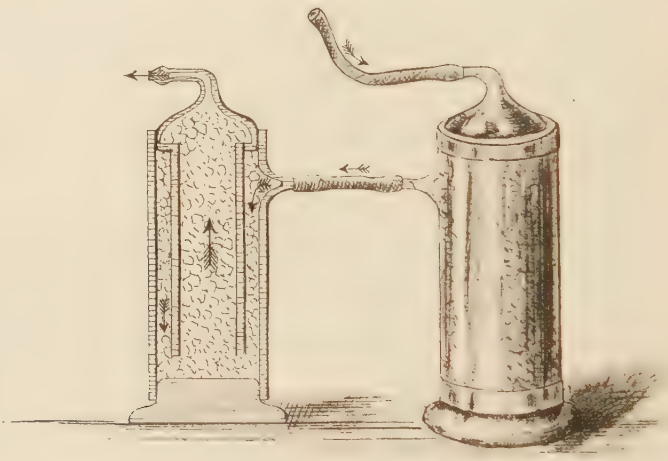

Fig. 1.

Kronecker's Absorptionsgefässe, links im Durchschnitt abgebildet. Die Pfeile geben die Richtung an, in der die Luft durchströmen kann.

Gruber und Schnyder hatten oftmals die Exspirationsluft, welche aus der letzten Natronkalkflasche ausgetreten war, in kleinen Ballons aufgefangen, um etwa der Absorption entgangene Kohlensäurereste zu bestimmen. Da sie höchstens Spuren vorgefunden hatten, verzichtete ich auf diese Nachprüfung.

Zum Trocknen der Luft vor ihrem Eintritt in die Absorptionsgefässe verwendete ich, dem Beispiel Cushny's folgend, Schwefelsäure und Phosphorsäureanhydrid.

Für meine Zwecke war der von Cushny und Schnyder angewendete Apparat der Verbesserung bedürftig. Zunächst sollte derselbe während

[1] *Zeitschrift für Biologie.* 1896. Bd. XXXIII. S. 12 u. 13.

meiner Steigexperimente mühelos mitgenommen und gebraucht werden können; der Cushny-Schnyder'sche war aber unbequem zu transportiren. Ferner schien es mir wichtig, die Ausathmung in den Apparat zu erleichtern. Gruber hat während seiner Versuche häufig an hochgradiger Athemnoth gelitten; Th. Beer, damals Assistent am physiologischen Institut in Bern, musste, wie ich aus mündlichen Mittheilungen weiss, aus demselben Grunde seine am Faulhorn begonnenen Steigversuche aufgeben. Der von Cushny seitdem umgeänderte Apparat genügte für die Schnyder'schen Experimente, für die meinigen dagegen nicht.

Zwischen die Versuchsperson und den Absorptionsapparat war früher als Luftvorrathsraum ein Gummiballon oder Luftkissen eingeschaltet, da mit grobkörnigem Natronkalk gefüllte Flaschen nur mühsam durchathmet werden können. Aber auch das Kissen konnte erst nach seiner Entleerung die ausgeathmete Luft aufnehmen; während es ausgedrückt wurde, blieb das zwischen demselben und dem Munde des Athmenden befindliche Ventil geschlossen. Das Luftkissen durfte daher nur während der Inspiration der Versuchsperson entleert werden.

Dies lässt sich bei Athmung in der Ruhe und während einer localen Arbeitsleistung leicht bewerkstelligen. Bei Gehversuchen und namentlich bei Steigversuchen wird hierdurch die Athmung sehr behindert. Da drückt sehr häufig der Gehülfe den Ballon gerade zu der Zeit, während welcher der Experimentator auszuathmen wünscht, und wenn man bei einem durch schwere körperliche Anstrengung hervorgerufenen heftigen Athembedürfnisse im Ausathmen gehemmt wird, so ist das Experiment gefährdet. Die am Austritt durch den Mund gehinderte Luft strömt unversehens entweder durch die Nase aus, oder man muss, von höchster Athemnoth gequält, den Versuch gänzlich unterbrechen. Nach einigen unbrauchbaren Umänderungen des Apparates gelang es mir, ihn so herstellen zu lassen, dass man jeder Zeit ungehindert hineinathmen kann. An Stelle eines einfachen verwendete ich zwei Luftsäcke, die abwechselnd ausgedrückt wurden, so dass der eine immer offen blieb. Nachstehende Skizze (Fig. 2) möge diese Verbesserung veranschaulichen.

Die Pfeile geben die Richtung des Luftstromes an, in der die Ventile *aa' bb'* sich öffnen. *1* und *2* bedeuten die Luftreserveräume. Die Anordnung der Ventile ist derart, dass, solange ein Ballon zusammengedrückt wird, sein Inhalt nur zu den Absorptionsgefässen entweichen kann, während der nicht comprimirte Ballon der Luft vom Mundstücke her zugänglich bleibt. Ein erster Versuch, einen solchen Apparat in Form einer Doppel-Ziehharmonika zu construiren, misslang, weil der Stoff, aus dem die Bälge hergestellt werden, nicht völlig zu dichten war. Daher wählte ich statt der zwei Harmonikabälge zwei Gummiballons, deren jeder 3 Liter fasste.

Diese Behälter liegen über einander, durch ein verschiebbares Brett getrennt, welches nach oben gedrückt den oberen — nach unten den unteren Ballon auspresst. Diese Vorrichtung befindet sich in einem Holzkasten *K*, der mittels Schulter- und Brustriemen dem Gehülfen aufgeschnallt wurde.

Nachfolgender Durchschnitt (Fig. 3) zeigt das Innere dieses Apparates.

Zwischen den Gummiballons *1* und *2* liegt das Brett *C*, das vermittelst der Hülsen *hh* an vier Messingsäulen *mm* geführt werden kann, welche mit den Holzbrettern *D* und *E* einen festen Rahmen bilden. Schlitze in den Seitenwänden des Apparates ermöglichen mittels der Handhaben *HH* das Druckbrett *C* nach oben und unten zu verschieben. Die Spiralfedern *ss*,

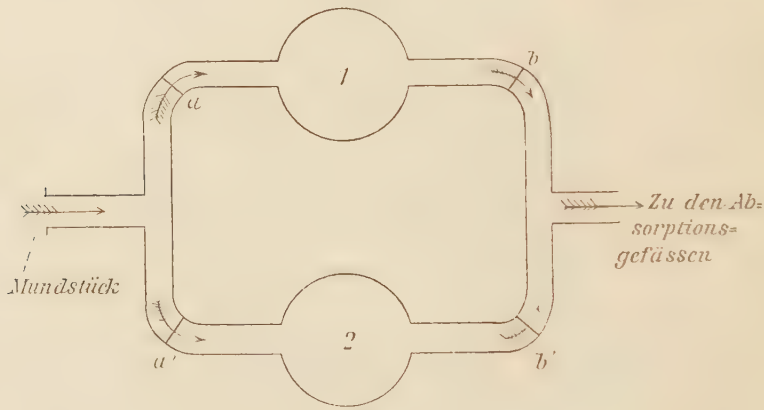

Fig. 2.

Schema des Weges der Exspirationsluft durch die abwechselnd geöffneten Kautschuksäcke. *a*, *a'*, *b*, *b'*: Scheibenventile, welche den Luftstrom nur in der Richtung der Pfeile gestatten.

die beim Hinunterschieben des Brettes *C* zusammengedrückt werden, dienen dazu, dem mühsameren Heben nachzuhelfen. Die zu- und abführenden Schläuche sind durch seitliche Oeffnungen der Holzverkleidung geleitet. Die vier Athmungsventile sind paarweise in zwei an der Aussenseite des Kastens befestigten eisernen Behältern *A* und *B* verborgen.

M bezeichnet das Mundstück, durch welches ausgeathmet wird, *S* das Schlauchstück, welches die Luft aus den Reservoirs zu den Absorptionsflaschen leitet.

Das Spiel der Ventile zeigt schematisch Fig. 2. Während der eine Ballon ausgedrückt wird, bleibt der andere für die Exspiration offen, so dass ununterbrochen in den Apparat geathmet werden kann.

Für die vier Natronkalkflaschen diente ein an Riemen tragbares Flaschengestell aus Eisenblech, ein ebensolches für die Schwefelsäure- und die Phosphorsäureanhydridflasche.

Bei den Gehversuchen (s. Fig. 4) trug der Gehülfe den Kasten mit den Gummiballons und das Gefäss mit den zum Trocknen der Athmungsluft dienenden Flaschen, die Versuchsperson die Kohlensäure-Absorptionsgefässe.

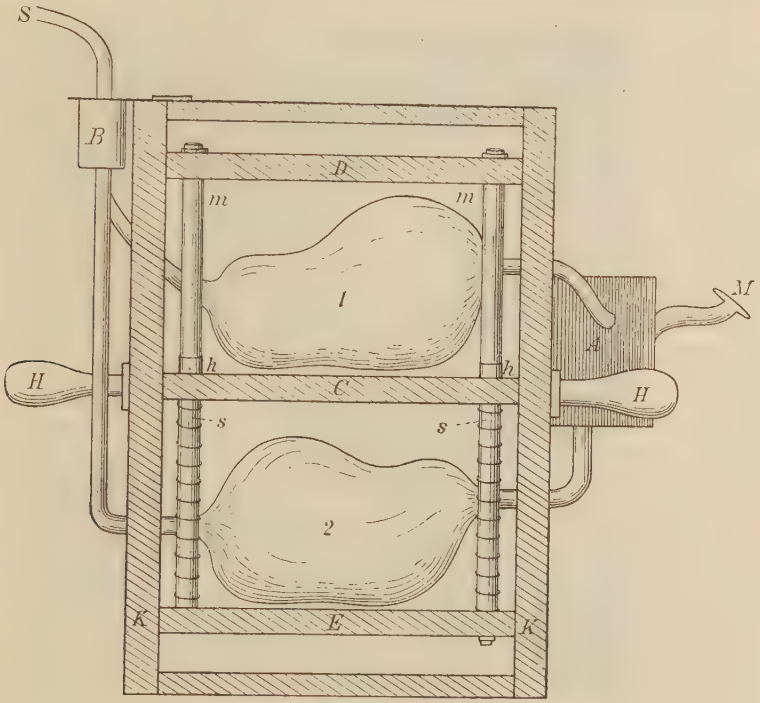

Fig. 3.

Vorrichtung mit zwei Luftsäcken zur jederzeitigen Aufnahme der ausgeathmeten Luft.

Die Verbindung vom Munde des in den Apparat Athmenden zu den Natronkalkflaschen war alsdann folgende:

Die Exspirationsluft geht von der Versuchsperson *1* (Fig. 4) aus zuerst in das ihr unter der Brust hängende Speichelfläschchen, von da durch einen weiten Gummischlauch in die Luftsäcke *a*, *a*; von hier ausgedrückt nimmt sie den Weg über die linke Schulter des Gehülfen *2* in die auf seinem Rücken befindlichen Wasserabsorptionsflaschen *b*, und von da aus gelangt sie endlich durch den langen hinteren Verbindungsschlauch in die vier mit erbsengrossen, gesiebten Natronkalkstückchen gefüllten Absorptionsgefässe *c*, *c*.

Nachdem wir das Knicken der verbindenden Schläuche durch genaue Fixation derselben vermeiden gelernt hatten, ging die Ausathmung in den Apparat fast widerstandlos vor sich, und der Gehülfe konnte, ohne auf die Athmung der Versuchsperson zu achten, die Reserveballons ausdrücken. Das Tragen der etwa 10 kg schweren Natronkalkflaschen wurde natürlich bei der Arbeitsberechnung in Betracht gezogen.

Fig. 4.

Versuchsperson (*1*) Gehülfe (2)
c, c Absorptionsgefässe *a, a* Kasten mit Luftsäcken
b Wasserabsorptionsflaschen.

Hrn. Dr. med. Schenk, Bandagist, und Hrn. Bischhausen, Mechaniker, danke ich hiermit bestens für die Bereitwilligkeit, mit der sie mir bei der Construction meines Apparates behülflich waren.

Jetzt galt es, eine Bergbahn zu finden, die es ermöglichte, Steigversuche in recht verschiedenen Höhen, bald nach einander, bei ungeschwächten Kräften anzustellen. Denn wenn man zuerst eine Reihe von Ruhe- und Arbeitsversuchen in der Ebene vornimmt, dann, nach einer mehrtägigen Reise, einen hohen Berg erklimmt und, hier angelangt, gleich wieder dieselben Experimente ausführt, ist ein Vergleich der Resultate theils wegen der

allmählich zunehmenden Trainirung, theils wegen der vorangegangenen Ermüdung, theils wegen der im Zeitlaufe von Wochen sich ändernden individuellen Disposition nicht beweiskräftig.

Alle Versuche, die von meinen Vorgängern zu gleichen Zwecken wie die meinigen angestellt waren, litten an diesen Unvollkommenheiten.

Für meine Ruheversuche schien die Wahl einer geeigneten Gebirgsbahn leicht. Am besten passte diejenige, welche die grössten Höhenunterschiede aufweist, also die Gornergratbahn.

Anders verhielt es sich mit den Steigversuchen. Zur Ausführung derselben waren zwei genügend lange Strecken mit gleichen Steigungsverhältnissen bei möglichster Höhendifferenz nothwendig. Denn die zu erwartenden Unterschiede der Kohlensäureproduction sollten einzig und allein auf die Verschiedenheit der Höhen zurückgeführt werden können und alles sonst Ungleiche daher soviel als irgend möglich vermieden werden. Es erwies sich als äusserst schwierig, an einer Gebirgsbahn die geeigneten Verhältnisse zu finden. Schon vorhandene, an solchen Bahnen liegende Fusswege konnten, ihrer allzu inconstanten Steigungsverhältnisse wegen, nicht benutzt werden, und der Gedanke, Treppen oder Wege, wenn auch auf primitive Weise, eigens zu dem Zwecke herzustellen, erwies sich wegen der grossen Schwierigkeit solcher Arbeiten im Gebirge als unthunlich.

Ich entschloss mich daher, die Trace einer Bergbahn als Versuchsweg zu benutzen. Da im Allgemeinen Gebirgsbahnen eine regelmässigere Anlage haben als Fusswege, liess sich eher hoffen, hier zwei passende Vergleichsstrecken zu finden.

Den Directionen der Berner Oberland- und der Wengernalpbahn sind wir für die liberale Unterstützung, welche sie dieser wissenschaftlichen Untersuchung gewährten, besonders zu Dank verpflichtet. An diesen Bahnen, die zur Entscheidung mancher anderen Frage über die Wirkung der Höhenluft sehr geeignet wären, fand ich leider die für mich erforderliche Constanz der Steigungsverhältnisse nicht.

Nach langem, vergeblichem Suchen erwies sich endlich die Brienzer Rothhornbahn als für meine Versuche am geeignetsten.

Diese Zahnradbahn führt vom Dorfe Brienz, das am oberen Ende des gleichnamigen Sees 570 m über dem Meeresspiegel liegt, zu der 2252 m hoch gelegenen Station Rothhornkulm in etwa einer Stunde.

Für meine Zwecke unterscheidet sich die Bahnlinie vortheilhaft von denjenigen aller anderen schweizerischen Bergbahnen durch ihre sehr gleichmässigen Steigungen. Es finden sich hier ganz oben einerseits und nicht weit über dem Dorfe Brienz andererseits zwei genügend lange Strecken, welche die gleiche Steigung von 25 Procent haben und daher meinen Forderungen entsprachen.

Die dadurch erreichbare grosse Genauigkeit schien mir den Mangel einer Versuchsstation über der Schneegrenze vorläufig aufzuwiegen. Herr Ingenieur Lindner, der Erbauer und Besitzer dieser Bahn, ertheilte mir bereitwilligst die Erlaubniss, in der Trace meine Versuche ausführen zu dürfen und stellte mir seinen Arbeitsraum an der Station Brienz zur Verfügung. Ich ergreife die Gelegenheit, ihm für seine Zuvorkommenheit in jeder Beziehung meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

Am Abend des 31. August 1898 langte ich, nachdem in Bern Alles fertiggestellt war, begleitet von Hrn. Bartel, dem langjährigen, erfahrenen Abwart des physiologischen Institutes der Universität Bern, in Brienz an und begann meine Versuche, die ich, um ganz sicher zu gehen, alle an mir selbst anstellte, Tags darauf.

Ausser dem oben beschriebenen Apparate hatten wir die üblichen meteorologischen Instrumente mitgenommen. Barometer und Thermometer konnten wir, wie sich bald zeigte, entbehren, da sowohl in Brienz als auf dem Rothhorn täglich diesbezügliche genaue Messungen vorgenommen wurden.

Eine arretirbare Secundenuhr diente zur exacten Zeitbestimmung unserer Versuche und zur Ausführung des Secundenschrittes, den ich während des Steigens einzuhalten gedachte. Unsere Waage erlaubte Wägung bis auf 1 ^{cg}.

Wir wohnten, die drei letzten Nächte ausgenommen, die ich im Rothhornhotel zubrachte, in Brienz unweit der Station.

Mein Ernährungszustand war normal. Meine Grösse betrug in Bergschuhen 182 ^{cm}, mein Brustumfang, unter den Kleidern gemessen, 108 ^{cm} bei Mittelstellung des Thorax, meine Vitalcapacität 3750 bis 4000 ^{ccm}. Mein Körpergewicht sammt Kleidern schwankte während der Versuchszeit zwischen 97·5 und 98 ^{kg}; ich bestimmte es jeden Morgen um dieselbe Zeit. Mein Allgemeinbefinden blieb während der ganzen Zeit gut, nur der Schlaf war während der ersten zwei Nächte auf dem Rothhorn etwas gestört.

Am 4. September kehrte ich nach Bern zurück, theils weil mein Vorrath an Natronkalk erschöpft war, theils weil ich die Wirkung eines zweitägigen Aussetzens der Versuche beobachten wollte. Am 6. September Nachts war ich wieder in Brienz; vom 10. September Mittags bis zum 13. September Mittags wohnte ich auf dem Brienzer Rothhorn, um mich durch tägliche Steigübungen an die Höhenluft zu gewöhnen.

Der 1. September war neblig und feucht, am 12. September Abends und am 13. September entluden sich heftige Gewitter, sonst war das Wetter andauernd trocken und windstill.

Zur Ausführung der Ruheversuche wählte ich als unteren Standort den mir von Hrn. Ingenieur Lindner zur Verfügung gestellten Arbeitsraum

in der Nähe des Bahnhofes, als oberen die Gesindestube des Rothhornhotels (15 m über der Station).

Der Höhenunterschied betrug daher, da Brienz 570 m, das Rothhornhotel 2267 m hoch liegt, 1697 m.

Während der Ruheversuche, die gewöhnlich 10 Minuten lang dauerten, sass ich möglichst bequem auf einem Stuhle. Der Apparat stand vor mir auf dem Tische. Puls und Athmung wurden jeweilen vor, die letztere auch während des Versuches gezählt.

Vor und nach jedem Experimente wurden die Natronkalkflaschen gewogen. Zu diesem Zwecke wurden die sämmtlichen Verbindungen gelöst, die Flaschen einzeln aus dem Blechbehälter genommen und mit Watte verstopft.

Die Ruheversuche folgten immer baldmöglichst — d. h. im Zeitraum von $1^1/_2$ bis 2 Stunden — auf einander. Zwischen je einem Experimente unten und oben wurde jedes Mal der Zug benutzt.

Für die Ausführung der Steigversuche hatte ich, wie oben angegeben, zwei Strecken ausgesucht, die beide genau gleiche Neigung von 25 Procent aufwiesen; die eine begann in einer Höhe von 734 m, die andere in einer Höhe von 2184 m. Die Höhendifferenz betrug also 1450 m. Oben und unten hatte ich 300 eiserne Schwellen, die Schwellenweite zu 90 cm, in 600 Secundenschritten zu überschreiten; der Versuchsweg war also 270 m lang, und die Arbeitsdauer musste, wenn keine Pausen gemacht wurden, genau 10 Minuten betragen. Während dieser Zeit hob ich mein Gewicht um 65·5 m, langte also unten in einer Höhe von 800 m, oben in einer Höhe von 2250 m an.

Somit leistete ich, da mein Gewicht 98 kg betrug und die von mir getragenen Natronkalkflaschen 10 kg wogen, 7074 kgm Arbeit in 10 Minuten.

Da die Schrittweite einer halben Schwellenweite gleich war, fiel der eine Schritt immer auf eine eiserne Schwelle, der andere in den den Zwischenraum zweier Schwellen ausfüllenden Schotter.

Oben und unten wurde das Experiment in ganz übereinstimmender Weise vorgenommen. Carotispuls und Athmungsfrequenz bestimmte ich in Sonderversuchen, während deren ich 1 Minute lang unbepackt den Berg hinaufstieg. Die Athmungsfrequenz liess sich mit Leichtigkeit auch während der Hauptversuche bestimmen; es fiel mit ziemlicher Regelmässigkeit oben und unten auf je zwei Schritte ein Athemzug.

Sobald ich in den Apparat zu athmen begann, löste ich die Arretirung der Secundenuhr, die ich in der rechten Hand trug, und controlirte selber den Secundenrhythmus meines Ganges. Bei den ersten Versuchen war es mir unmöglich, dieses Tempo genau einzuhalten, selbst wenn ich eine dritte

Person mitnahm, welche mit lauter Stimme die Secunden zählte. Als aber alle Schläuche gut fixirt und ich und mein Gehülfe das gemeinsame Marschiren in den Schienen genügend gewohnt waren — also von Versuch 14 an — konnte ich die Uhr leicht beobachten und den Secundenschritt auf das Exacteste ausführen.

Während des Steigens befand sich mein rechter Fuss immer ausserhalb, mein linker innerhalb der rechten Bahnschiene; in gleicher Weise ging mein Gehülfe (s. Fig. 4) auf der anderen Seite. Da die Schwellen weit aus den Schienen herausragen, konnte ich sie nicht verfehlen.

Ursprünglich beabsichtigte ich, während der 10 Minuten ununterbrochen zu gehen und, am Ziele angelangt, eine halbe Minute nachzuathmen. Es zeigte sich sogleich, dass dies nicht möglich war. Das Ausathmen in den Apparat war nicht mühelos und der Secundenschritt bei einer Steigung von 25 Procent nicht langsam genug, um ohne Pausen diese Arbeit leisten zu können. Von Versuch 13 an machte ich immer nach gleichen Zeiträumen gleich langen Halt, so dass die Zeitverhältnisse der Ruhe- und Arbeitsathmung bei den Steigexperimenten folgende waren:

	Steigen	6 Minuten,	Ruhe	1 Minute,
	„	$2^1/_2$ „	„	$^1/_2$ „
	„	$1^1/_2$ „	„	$^1/_2$ „
also im Ganzen:	Steigen	10 Minuten,	Ruhe	2 Minuten.

Während dieser 12 Minuten wurde ununterbrochen in den Apparat geathmet. Ich brachte es übrigens mit der Zeit so weit, dass ich auch ohne diese Pausen hätte auskommen können, behielt sie aber bei, da ich sonst meine Resultate weniger leicht hätte mit einander vergleichen können.

Gruber hat bei seinen Versuchen durchschnittlich 8 Minuten nachgeathmet; Schnyder liess seine Versuchspersonen 3 Minuten lang nachathmen. Da die Vermehrung des Gaswechsels in den ersten Minuten nach der Arbeit rasch abnimmt, und es mir ja einzig und allein auf Vergleiche ankam, athmete ich nur eine halbe Minute nach, um möglichst deutliche Unterschiede zu erhalten.

Wenn ein Versuch zu Ende war, stellte ich für den nächsten Versuch das hintere Paar der Natronkalkgefässe, das fast nichts absorbirt hatte, in die erste Linie. Jede Flasche, die zwei Mal — ein Mal als vordere, ein Mal als hintere — gedient hatte, wurde geleert und mit frischem Material gefüllt. — Zwischen den beiden Versuchsstationen benutzte ich den Zug, um jegliche störende Ermüdung ausserhalb der zwei direct zu vergleichenden Experimente zu vermeiden.

Während ich am Brienzer Rothhorn experimentirte, war es mir wegen der zu jedem Versuche nöthigen, zeitraubenden Vorbereitungen und wegen der seltenen Zugverbindungen nicht möglich, mehr als zwei Steigversuche täglich auszuführen. Die Resultate waren die gleichen, ob ich unten oder oben den ersten Versuch machte.

Wenn man nun meine Versuchsanordnungen mit denjenigen der Berliner Forscher vergleicht, so wird man ohne Weiteres einsehen, dass ich unter ungleich günstigeren Bedingungen arbeiten konnte. Die Loewy'schen Versuche in der pneumatischen Kammer können nicht wohl zum Vergleich herbeigezogen werden, da sie, wie in der Einleitung ausgeführt wurde, ganz andere Werthe ergaben, als die mit den gleichen Methoden, theilweise sogar von demselben Autor in den Bergen vorgenommenen Experimente. (A. Mosso untersuchte den Gaswechsel während der Arbeit in der Höhe nicht.)

N. Zuntz und Schumburg[1] haben in der erwähnten Arbeit als die Ersten die Frage an Ort und Stelle zu lösen gesucht. Die Schwierigkeit der Verhältnisse, in denen sie sich befanden, lässt ihre Versuche nur um so verdienstvoller erscheinen.

Es war jedoch diesen Forschern unmöglich, übereinstimmende Versuchsstrecken zu finden. In Berlin benutzten sie zur Untersuchung der Steigarbeit theils eine ausgemessene Wendeltreppe, theils eine Tretbahn von durchschnittlich 17° Neigung, auf der Bétempshütte einen ziemlich gleichmässig steilen Fussweg, dessen Steigung nivellirt wurde, auf der Sattelsohle des Monte Rosa „eine nur mässig geneigte, mit wenig fest gefrorenem Schnee bedeckte Gletscherfläche"; A. und J. Loewy und L. Zuntz[2] hatten noch ungünstigere Versuchsstrecken. — Schrittweite und Schrittdauer, welche beide die Grösse der Arbeitsleistung stark beeinflussen (Marey),[3] wurden von keinem der genannten Forscher berücksichtigt. Da sowohl Arbeitsdauer als Arbeitsgrösse jedes einzelnen ihrer Versuche wechselnde waren, mussten die für den Gasverbrauch gefundenen Werthe erst auf 1 ^{kgm} Steigarbeit umgerechnet werden; diese Arbeit wurde aber gemäss den ganz verschieden steilen Versuchsstrecken in recht verschiedener Zeit geleistet.

Die Versuche in Berlin wurden von N. Zuntz und Schumburg im Februar und März des Jahres 1896, die Monte Rosa-Experimente im August 1895 ausgeführt, lagen also zeitlich sehr weit aus einander, und endlich erreichten diese Forscher, sowie ihre Nachfolger, die Höhenstationen erst nach körperlicher Anstrengung und Ermüdung.

---

[1] A. a. O. [2] A. a. O.

[3] E. Marey, *Le mouvement.* 1894. p. 134—163. — Siehe auch *Comptes rendus de l'Académie.* 1881—1889.

Alle diese aus der Schwierigkeit der Verhältnisse erwachsenen Nachtheile mussten die Beweiskraft der Resultate trüben.

Da ich in Bern wohne, war es mir natürlich leichter als den genannten bewährten Forschern absolut genaue Vergleichsversuche im Gebirge anzustellen und damit die Vorbedingungen für eine einwandsfreie Arbeit zu erfüllen.

Protokolle der Versuche am Brienzer Rothhorn im Jahre 1898.

Versuch 1. 1. IX. 1898. Station Brienz (620 m). Athmung in Ruhe. Wetter neblig, feucht. Temp. 19° C. Bar. 717·9. Hygrom. 85 (sehr feucht).

Allgemeinbefinden gut.

Puls 68. Resp. 16.

Beginn des Versuches 10^h 5′. Dauer 8′.

Gewicht der Natronkalkflaschen:

Flasche	I	II	III	IV
nach Versuch	2138·20	2487·85	2316·9	2234.67 grm
vor „	2134·20	2483·4	2317·45	2235·06 „
Zunahme	4.00	4·45	— 0·55	— 0·59 grm

Total der ausgeathmeten CO_2 7·31 grm.

Bemerkungen: Ich hatte nur 8 Minuten Zeit für das Experiment. Deshalb liess ich die zu vergleichende Ruheathmung auch oben nicht länger dauern.

Dass die Flaschen III und IV nach dem Experiment um ein Weniges leichter waren als vorher, erklärt sich aus dem Wechsel der Wattebäusche, welche zum Verstopfen der Flaschenöffnungen dienten und welche natürlich nicht alle gleich schwer waren. Es wurden allerdings wieder die gleichen Bäusche benutzt, und Gesammtfehler so vermieden, sie geriethen aber bald in die, bald in jene Flasche.

Versuch 2. 1. IX. 1898. Rothhornhotel. Athmung in Ruhe.

Wetter neblig, feucht. Temp. 15° C. Barom. 585. Hygrom. 75.

Beklemmungsgefühl.

Puls bei Ankunft oben (12^h 40′) 72, etwas unregelm. Resp. 22 vertieft.

Nach 30′ Puls gleich. Resp. 16.

Beginn des Versuches 1^h 10′.

Ende „ „ 1^h 18′. Dauer somit 8′.

Flaschengewicht:

	I	II	III	IV
nach Versuch	2142·3	2491·31	2316·95	2234·79 grm
vor „	2138·20	2487·85	2316·9	2234·47 „
Zunahme	4·10	3·46	0·05	0·32 grm

Total der ausgeathmeten CO_2 7·93 grm.

Versuch 3. 1. IX. 1898. Gehversuch. Obere Versuchsstation. Witterungsverhältnisse u. s. w. wie bei Versuch 2.
Beginn des Versuches 3^h 20′.
Ende „ „ 3^h 45′ 35″.
Dauer „ „ 15′ 35″, davon ca. 4′ Pause.
Flaschengewicht:

	I	II	III	IV
vor Versuch	2151·7	2501·15	2318·25	2234·9 grm
nach „	2142·3	2487·85	2316.9	2234·47 „
Zunahme	9·4	13·30	1·35	0·43 grm

Total der ausgeathmeten CO_2 **24·48** grm.

Bemerkungen: Die Ergebnisse dieses ersten Steigversuches sind durchaus unzuverlässig. Die schlecht fixirten Gummischläuche knickten fortwährend, schufen somit unüberwindliche Widerstände für die Ausathmung in den Apparat und zwangen mich, durch die Nase auszuathmen. Durch diese Störungen wurden auch die Pausen unregelmässig, und der Secundenschritt konnte nicht eingehalten werden.

Versuch 4. 1. IX. 1898. Gehversuch. Untere Versuchsstation.
Wetter klar. (Hygrom. 80. Barom. 718·1. Temp. 18^0 C.)
Allgemeinbefinden gut. Puls in Ruhe 64, nach 1′ Steigen 120. Resp. in Ruhe 20, im Steigen 30.
Beginn des Versuches 6^h 5′.
Ende „ „ 6^h 19′ 35″.
Dauer also 14′ 55″.
Unregelmässige Pausen von ca. 4′ Dauer insgesammt.
Flaschengewicht:

I	II	III	IV
2332·74	2511·61	2157·9	2238·6 grm
2318·25	2501·15	2151·7	2234·9 „
Zunahme 14·49	10·46	6·2	3·7 grm

Total der ausgeathmeten CO_2 **34·85** grm.

Bemerkungen: Versuch besser als der dritte. Die Gummischläuche waren besser verbunden und fixirt, knickten nicht mehr so häufig.
Immerhin noch die gleichen Schwierigkeiten in geringerem Grade.

Versuch 5. 2. IX. 1898. Ruheversuch in Brienz.
Wetter klar. (Temp. 18^0 C. Barom. 720·4. Hygrom. 82.) Puls 80. Resp. 16.
Versuchsbeginn um 8^h. Ende 8^h 10′. Dauer also 10′.
Flaschengewicht:

	I	II	III	IV
nach Versuch	2516·25	2336·38	2158·41	2339·26 grm
vor „	2511·61	2332·74	2157·9	2238·6 „
	4.64	3·64	0·51	0·66 grm

Total der ausgeathmeten CO_2 **9·45** grm.

Versuch 6. 2. IX. 1898. Gehversuch. Untere Versuchsstation.
Witterung u. s. w. wie bei Versuch 5.
Puls geht während 1′ Steigens auf 132, Resp. auf 30 pro Minute.
Beginn des Versuches 9^h 10′.
Ende „ „ 9^h 25′. Dauer 15′.
1. Ruhepause nach 6′ Gehen 1′ lang.
2. „ „ weiteren 3′ Gehen 35″ lang.
3. oben angelangt 1′ 46″.
Ich athmete während der ganzen 15′ in den Apparat, davon 11′ 39″ während der Arbeit und 3′ 21″ in Ruhe.
Flaschengewichte:

I	II	III	IV
2351·20	2250·92	2162·60	2516·25 grm
2336·38	2239·26	2158·71	2516·25 „
14.82	11·66	3.89	0·0 grm

Total der ausgeathmeten CO_2 **30·37** grm.

Bemerkungen: Dieselben Beschwerden wie in Versuch 3 und 4, nur in geringerem Grade.

Versuch 7. 2. IX. 1898. Ruheversuch. Rothhornhotel.
Barom. 588. Therm. 19° C. Hygrom. 75 (feucht). Puls 80. Resp. 20.
Versuchsbeginn 11^h 30′. Dauer 10′.
Total der ausgeathmeten CO_2 **9·86** grm.

Bemerkungen: Versuch 7 ist ein Parallelversuch zu Versuch 5. Ein Vergleich ist hier möglich, da die beiden Versuche vollkommen gelangen.
Mehrausgabe oben 0·41 grm.

Versuch 8. 2. IX. 1898. Gehversuch. Obere Versuchsstation.
Alle Verhältnisse wie bei Versuch 7.
Genaue Angaben unnöthig, da dieser Versuch misslang: vorgenommen wurde er wie die anderen Gehversuche.
Resultat: ca. 8 grm CO_2 gefunden.

Bemerkungen: Eine der Natronkalkflaschen war nicht luftdicht verbunden.
Eventuell hatten wir auch den Natronkalk zu lange benutzt; nach Gruber's Bestimmungen hätte er allerdings noch genügend absorbiren sollen.

Versuch 9. 3. IX. 1898. Ruheversuch. Brienz.
Wetter klar. Temp. 21° C. Barom. 720·4. Hygrom. 55.
Beginn 9^h 10′. Dauer 10′.
Gewichtszunahme der Flaschen:

I	II	III	IV
5·26	4·54	— 0·12	0·0 grm

Total der ausgeathmeten CO_2 **9.68** grm.

Versuch 10. 3. IX. 1898. Ruheversuch. Rothhornhotel.
Temp. 19·5° C. Barom. 590. Hygrom. 60. Puls 72. Resp. 20.
Beginn 12^h. Dauer 15′.

Gewichtszunahme der Flaschen:

I	II	III	IV
6·65	6.95	0·53	1·29 grm

Total der ausgeathmeten CO_2 **15·42** grm.

Bemerkungen: Durch ein Versehen wurde in diesem Versuche 15′ lang geathmet. Sonst gelang er vollkommen.

Versuch 11. 3. IX. 1898. Ruheversuch. Rothhornhotel.
Witterung u. s. w. wie bei Versuch 10.
Beginn 12^h 35′. Dauer 10′.
Gewichtszunahme der Natronkalkflaschen:

I	II	III	IV
4·55	3·71	1·08	0·46 grm

Total der ausgeathmeten CO_2 **9·80** grm.

Versuch 12. 3. IX. 1898. Steigversuch. Obere Versuchsstation.
Barom. 590. Alle anderen Bedingungen wie bei Versuch 11 und 10.
Puls vor Beginn des Versuches 76, nach 1′ Steigen 140.
Resp. 16, während des Steigens ca. 36.
Beginn 4^h. Dauer 13′ 15″, davon ca. 3′ Pause.
Gewichtszunahme der Natronkalkflaschen:

I	II	III	IV
12·35	15·95	4·43	3·96 grm

Total der ausgeathmeten CO_2 **36·69** grm.

Bemerkungen: Manche unnütze Pause.

Versuch 13. 3. IX. 1898. Steigversuch. Untere Versuchsstation.
Temp. 20° C. Barom. 722·7. Hygrom. 40.
Beginn 6^h 10′. Ende 6^h 22′.
Dauer also 12′, davon 2′ Pause.
Von diesem Versuche an wurden Arbeit und Pausen immer gleich eingehalten, nämlich:

1. Arbeit 6′		2. Pause 1′	
3. „ $2^1/_2$′		4. „ $^1/_2$′	
5. „ $1^1/_2$′		6. „ $^1/_2$′	
Arbeit 10′.		Pausen 2′.	

Resultat: ca. 10 grm ausgeathmete CO_2 gefunden.

Bemerkungen: Versuch gänzlich misslungen; Gründe wie in Versuch 8. Von diesem Versuche an wurden die Flaschen täglich mit ganz frischem Natronkalk gefüllt.

Versuch 14. 4. IX. 1898. Steigversuch. Obere Versuchsstation.
Wetter schön. Therm. 21° C. Barom. 590. Hygrom. 35 (trocken). Puls 74, nach 1′ Steigen 132. Resp. 16, im Steigen 30.
Beginn des Versuches 4^h 10′.
Ende „ „ 4^h 22′.
Ueber Dauer von Arbeit und Pausen wie bei Versuch 13.

Gewichtszunahme der Natronkalkflaschen:

I	II	III	IV
17·52	19·95	4·09	1·37 grm

Total der ausgeathmeten CO_2 **42·93** grm.

Versuch 15. 4. IX. 1898. Steigversuch. Untere Versuchsstation.
Therm. 21° C. Barom. 720. Hygrom. 30.
Beginn 6^h 5′. Ende 6^h 17′.
Menge der ausgeathmeten CO_2 **39·12** grm.

Bemerkungen: Versuche 14 und 15 sind die ersten vergleichbaren Steigversuche.

Versuch 16. 7. IX. 1898. Steigversuch. Obere Versuchsstation.
Wetter heiss, trocken. Temp. 25° C. Barom. 588. Hygrom. 40.
Allgemeinbefinden gut. Geringes Müdigkeitsgefühl.
Puls 76, nach 1′ Steigen 128.
Resp. 16, nach 1′ Steigen 32.
Vom 4. IX. Abends bis zum 6. IX. Abends war ich in Bern.
Beginn 3^h 55′. Ende 4^h 7′.
Menge der während 12′ ausgeathmeten CO_2 **46·25** grm.

Versuch 17. 7. IX. 1898. Steigversuch. Untere Versuchsstation.
Temp. 26° C. Barom. 716·1. Hygrom. 45.
Puls 76, nach 1′ Steigen 124.
Resp. 16 bis 20, während des Steigens 32.
Versuchsbeginn 5^h 55′.
Menge der während 12′ ausgeathmeten CO_2 **39·37** grm.

Versuche 16 und 17 ergaben die grössten Differenzen zwischen oben und unten; ich war aber auch wegen meines 2tägigen Aufenthaltes in Bern weniger trainirt, als bei irgend einem der anderen brauchbaren Versuchspaare.

Versuch 18. 8. IX. 1898. Steigversuch. Untere Versuchsstation.
Wetter schön. Temp. 19° C. Barom. 717·7. Hygrom. 35.
Puls 72, nach 1′ Steigen 132.
Resp. 16, nach 1′ Steigen 30.
Versuchsbeginn 9^h 5′ Morgens.
Menge der während 12′ ausgeathmeten CO_2 **39·24** grm.

Versuch 19. 8. IX. 1898. Steigversuch. Obere Versuchsstation.
Temp. 18° C. Barom. 588. Hygrom. 40.
Puls 76, nach 1′ Steigen 140.
Resp. 18, nach 1′ Steigen 34.
Beginn 12^h 10′.
Menge der während 12′ ausgeathmeten CO_2 **42·54** grm.

Bemerkungen: Bei den Vergleichsversuchen 18 und 19 wurde der Controle wegen einmal mit dem unteren Versuch begonnen.

Versuch 20. 9. IX. 1898. Steigversuch. Obere Versuchsstation.
Wetter schwül. Temp. 21° C. Barom. 587·5. Hygrom. 30.
Puls 76, nach 1′ Steigen 136.
Resp. 20, nach 1′ Steigen 36.
Beginn 4^h.
Menge der während 12′ ausgeathmeten CO_2 **40·51** grm.

Versuch 21. 9. IX. 1898. Steigversuch. Untere Versuchsstation.
Temp. 20° C. Barom. 715·1. Hygrom. 30.
Puls 76, nach 1′ Steigen 132.
Resp. 20, nach 1′ Steigen 32.
Beginn 5^h 55′.
Menge der während 12′ ausgeathmeten CO_2 **35·31** grm.

Versuch 22. 10. IX. 1898. Ruheversuch. Brienz.
Wetter schön. Temp. 20° C. Barom. 717·1. Hygrom. 50.
Allgemeinbefinden gut.
Puls 70. Resp. 16.
Beginn 9^h. Dauer 10′.
Menge der während 12′ ausgeathmeten CO_2 **8·07** grm.

Versuch 23. 10. IX. 1898. Ruheversuch. Rothhornhotel.
Temp. 24° C. Barom. 588. Hygrom. 50.
Puls 76. Resp. 18.
Beginn 12^h. Dauer 10′.
Menge der während 12′ ausgeathmeten CO_2 **8·43** grm.

Versuch 24. 13. IX. 1898. Temp. 18° C. Barom. 584. Hygrom. 80.
Wetter gewitterhaft schwül, kein Regen.

Vom 10. IX. Abends bis zum 13. IX. Morgens wohnte ich auf dem Brienzer Rothhorn. Schlaf daselbst oft durch quälende Athemnoth gestört; häufiges Bedürfniss, tief Athem zu holen.

In der dritten Nacht liessen diese Erscheinungen nach.

Tagüber nahm ich regelmässig Steigübungen vor, namentlich dem Grate nach, um nicht zu tief herunter zu gelangen.

In der Nacht vom 12. zum 13. IX. schlief ich gut; Allgemeinbefinden am 13. IX. Morgens gut. Puls 76, nach 1′ Steigen 136. Resp. 20, nach 1′ Steigen 32.

Menge der während 12′ ausgeathmeten CO_2 **34·03** grm.

Bemerkungen: Der Einfluss der Trainirung war auch subjectiv fühlbar.

Versuch 25. 13. IX. 1898. Steigversuch. Untere Versuchsstation.
Temp. 20° C. Barom. 715·9. Hygrom. 85.

Wetter: Kurz vor dem Versuche ein Gewitter, während des Versuches Himmel bedeckt, doch kein Regen.

Puls 76, nach 1′ Steigen 128.
Resp. 16, nach 1′ Steigen 32.
Versuchsbeginn 5^h 10′. Dauer 12′.
Menge der während 12′ ausgeathmeten CO_2 **33·95** grm.

Die Ergebnisse der eben angeführten Experimente am Brienzer Rothhorn wurden zuerst in den Verhandlungen der physiologischen Gesellschaft zu Berlin[1] publicirt. Schon damals wies ich auf die Nothwendigkeit hin, meine Untersuchungen in grösseren Höhen fortzusetzen und im August des Jahres 1899 führte ich diesen Plan aus.

Als Versuchsort wählte ich diesmal die Gornergratbahn, da dieselbe in grössere Höhen hinaufführt als irgend eine andere Gebirgsbahn. Im Uebrigen sollten die Versuche in genau gleicher Weise vorgenommen werden wie die Brienzer Rothhorn-Experimente; doch geboten die äusseren Verhältnisse einige Abweichungen.

Die letzte Bahnstrecke vor der Station Gornergrat (3038 m) hat eine Steigung von 19·3 Procent. Da Zermatt schon 1620 m hoch liegt, musste ich meine untere Versuchsstrecke weiter unten suchen, fand aber auf der Bahnlinie Visp-Zermatt keine mit passender Steigung. Ich entschloss mich daher, meine unteren Steigversuche wieder an der Brienzer Rothhornbahn auszuführen, da ich daselbst geeignetere Verhältnisse vorfand und der Ort für mich leicht erreichbar war.

Die Schwellenweite beträgt an der Gornergratbahn wie an der Brienzer Rothhornbahn 90 cm. Es war mir somit wie im früheren Jahr leicht möglich, oben und unten die genau gleiche Schrittweite einzuhalten.

Als untere Versuchsstrecken wählte ich an der Brienzer Rothhornbahn

1. eine Strecke von 17·29 Procent Steigung, beginnend in einer Höhe von 620 m, und

2. eine Strecke von 19 Procent Steigung, beginnend in einer Höhe von 690 m.

Wiederum gedachte ich oben und unten eine Weglänge von 270 m (300 Schwellen) in 600 Secundenschritten zurückzulegen. Die Strecke mit 19 Procent Steigung am Brienzer Rothhorn war aber zu kurz. Ich legte daher in derselben, um die gleiche Arbeit wie sonst zu leisten, zwei Mal denselben Weg von 135 m Länge zurück. Nachdem ich das erste Mal 135 m weit hinaufgestiegen war, athmete ich 1 Minute nach, hielt dann den Athmungsschlauch zu und stieg langsam den eben gemachten Weg wieder hinunter, um dann — nach etwa 5 Minuten — nochmals die gleiche Arbeit zu leisten und am Ende wieder 1 Minute nachzuathmen.

Wie bei den anderen Versuchen dauerte dann

die Athmung während der Arbeit 10 Minuten,
„ „ „ „ Ruhe 2 „

die Arbeitsleistung war die gleiche, doch fand zwischen dem ersten und zweiten Arbeitsabschnitte während des etwa 5 Minuten dauernden Hinunter-

[1] *Archiv für Anat. u. Physiol.* 1898. Physiol. Abthlg. S. 534.

steigens eine ziemlich vollständige Erholung statt. Aus diesem Grunde konnte ich die hierbei gefundenen Zahlen nicht ohne Weiteres mit denjenigen der auf die gewohnte Weise vorgenommenen Versuche vergleichen, sondern ich musste auch auf dem Gornergrat einen Theil der Experimente in dieser Art vornehmen.

Es dienten mir dabei auf dem Gornergrat als obere Versuchsstrecken

1. eine Strecke von 19·3 Procent Steigung, 270 m lang, beginnend in einer Höhe von 2987 m (ein Mal durchlaufen),

2. eine Strecke von 19·3 Procent Steigung, 135 m lang, beginnend in einer Höhe von 3012 m (zwei Mal durchlaufen).

In beiden Fällen erreichte ich oben die gleiche Höhe von 3038 m.

Meine Ruheversuche nahm ich theils in Bern, theils im Stationsgebäude des Gornergrats (3038 m) vor.

Der Höhenunterschied betrug daher für die Ruheversuche etwa 2500 m und für die Steigversuche etwa 2400 m.

Die specielleren Bedingungen, unter denen ich diese Versuche vornahm, waren folgende. Am 19. August 1899 Morgens führte ich die ersten Ruheversuche in Bern aus; am 21. August begab ich mich nach Brienz und nahm, untrainirt, die Steigversuche an den unteren Strecken vor. Am 22. August verreiste ich nach Visp, übernachtete daselbst und vollendete am nächsten Tage auf dem Gornergrat, untrainirt, eine Serie von Ruhe- und Steigversuchen an der oberen Versuchsstation. Hierauf trainirte ich mich in der Höhe, schlief die erste Nacht — vom 23. auf den 24. August — im Gornergrathotel (3136 m hoch), stieg Tags darauf nochmals vom Hotel zur Station (3038 m) hinunter und wieder herauf, und begab mich Abends in die untere Theodulhütte (3020 m, Weg von $2^1/_2$ Stunden). Ich übernachtete daselbst, bestieg am 25. August das Walliser Breithorn (4171 m), kehrte Abends wieder zum Gornergrathotel zurück (Tagesmarsch von etwa 9 Stunden) und schlief daselbst. Am 26. August nahm ich, so trainirt, Ruhe- und Steigversuche an der oberen Versuchsstation vor und begab mich Abends nach Zermatt. Am 27. August langte ich in Bern an. Am 28. August führte ich daselbst, trainirt, Ruheversuche aus, und am 29. und 30. Steigversuche am Brienzer Rothhorn unten und oben.

Das Uebrige ergiebt sich aus den Tabellen. Barometer-, Thermometer- und Hygrometerablesungen nahm ich diesmal nicht vor. Das Wetter war während der ganzen Zeit bis auf die letzten zwei Tage, an denen die Bergspitzen von Nebel bedeckt waren, gleichmässig klar und trocken.

Ich ergreife hier die Gelegenheit, Hrn. Bartel (Abwart am Berner physiologischen Institute), der auch dieses Jahr mein ebenso geschickter als gewissenhafter Gehülfe war, für seine viele Mühe verbindlichst zu danken.

Man sieht, dass diese Versuche nicht unter so ideal günstigen Bedingungen ausgeführt werden konnten, wie diejenigen des vorigen Jahres. Die procentualischen Steigungen der Vergleichsstrecken differirten — wenn auch um ein Geringes; die Arbeitsorte oben und unten konnten nicht täglich gewechselt werden, und zwischen den Versuchsserien unten und oben lagen 3 bis 4 Tage.

Diese kleinen Mängel, aus Ungunst der Verhältnisse, können indessen die Vergleichbarkeit der diesjährigen Höhen- und Tiefenversuche nur in geringfügigem Grade beeinflusst haben. Da ich zu alledem diesmal den Vorzug eines grösseren Höhenunterschiedes der einzelnen Standorte und namentlich auch denjenigen einer oberen Versuchsstation weit über der Schneegrenze hatte, bilden diese Experimente eine wichtige Ergänzung meiner im Jahre vorher am Brienzer Rothhorn vorgenommenen Versuche.

Jedenfalls waren auch die Bedingungen zu diesen Experimenten ungleich günstigere als diejenigen aller bis dahin über das gleiche Thema geleisteten Arbeiten.

— – —

Versuche vom Jahre 1899.

Versuch 1. 19. VIII. 1899. Bern. Ruheversuch. Puls 76. Resp. 16. Gewicht der Natronkalkflaschen:

	Flasche I	II	III	IV
nach dem Versuch	2045·35	2146·64	1997·24	1942·5 grm
vor „ „	2045·35	2146·64	1993·56	1937·0 „
Zunahme:	0·0	0·0	3·68	5·5 grm

Total der in 10′ ausgeathmeten CO_2 **9·18** grm.

Da die gefundene Zahl ungefähr mit den Zahlen des letzten Jahres übereinstimmte, wurde von weiteren Ruheversuchen in dieser Höhe abgesehen.

Versuch 2. 21. VIII. 1899. Brienz. Höhe 690 m. Steigversuch. 19 Procent Steigung. Strecke 135 m lang. Zwei Mal durchlaufen. Beginn 11^h 50′.

Athmung 16. Puls 76, nach 1′ Steigen Puls 120, Athmung gegen 30. (Diese Angaben gelten auch für die nächsten an einer der unteren Versuchsstationen untrainirt vorgenommenen Steigexperimente.)

Gewicht der Natronkalkflaschen:

	I	II	III	IV
nach Versuch	1944·55	1997·40	2164·45	2057·55 grm
vor „	1943·2	1997·8	2147·45	2045·75 „
Zunahme:	1·35	—0·4	17·00	11·80 grm

Total der ausgeathmeten CO_2 **29·75** grm.

Dauer des Versuches wie bei allen Steigversuchen 12′ (s. S. 527). Da dieser Versuch fehlerfrei war, und ich die Vergleichsversuche am Gornergrat möglichst rasch folgen lassen wollte, nahm ich an dieser Strecke keinen Controlversuch vor.

Versuch 3. 21. VIII. 1899. Brienz. Höhe 620 m. Steigversuch. Strecke von 17·2 Procent. 270 m lang. Einmal durchlaufen. Beginn 2^h 10′. Dauer 12′.
Gewichtszunahme der Natronkalkflaschen:

I	II	III	IV
17.68	11·80	1·63	0·0 grm

Total der ausgeathmeten CO_2 **31·11** grm.

Versuch 4. 21. VIII. 1899. Alles wie bei Versuch 3.
Beginn 3^h 40′. Dauer 12′.
Menge der ausgeathmeten CO_2 **30·84** grm.
Die gefundene Zahl variirt nur um 0·27 grm von der früheren.

Versuch 5. 23. VIII. 1899. Station Gornergrat (3038 m). Ruheversuch.
Resp. 16 bis 24, unregelmässig.
Puls zuerst, gleich bei Ankunft oben (11^h 30′) 60, nach einer Viertelstunde Aufenthalt 96, bei Beginn des Versuches (12^h 5′) 84. Aehnliches Verhalten bei meinem Gehülfen.
Während 10′ ausgeathmete CO_2-Menge **8·99** grm.

Versuch 6. 23. VIII. 1899. Gornergrat-Station. Ruheversuch.
Beginn 12^h 50′.
Puls 80. Resp. 20.
CO_2-Ausscheidung in 10′ **9·41** grm.
Ich schied also in diesem Versuche, der gleich auf Versuch 5 folgte, in 10′ bei Ruheathmung 0·42 grm CO_2 mehr aus, als im vorher gegangenen.

Versuch 7. 23. VIII. 1899. Gornergrat, 3012 m hoch. Steigversuch.
Strecke von 135 m, 2 Mal durchlaufen.
Puls und Resp. sehr unregelmässig.
CO_2-Ausscheidung **32·52** grm.
Beginn $1^1/_2{}^h$. Dauer 12′.
Die Athmung war zeitweise sehr mühsam und unregelmässig, bald tief, bald oberflächlich, im Ganzen ziemlich frequent (gegen 35 Athemzüge pro Minute), doch auch in der Frequenz schwankend.
Die Pulsfrequenz stieg bis auf 144 Schläge pro Minute.

Versuch 8. 23. VIII. 1899. Gornergrat. Steigversuch. Strecke von 270 m Länge, 2987 m hoch. Einmal durchlaufen.
Puls und Resp. wie bei Versuch 7.
Dasselbe gilt auch für Versuch 9.
Beginn des Versuches Nachmittags 3^h.
Menge der in 12′ ausgeschiedenen CO_2 **33·92** grm.
Die Zahl ist im Vergleich zu Versuch 3 und 4 auffallend niedrig. Der Versuch gelang im Ganzen gut, doch hatte ich hochgradige Dyspnoë und musste einige Male — obwohl, wie ich ausdrücklich bemerke, selten — durch die Nase ausathmen.

Versuch 9. 23. VIII. 1899. Alles wie in Versuch 8.
Beginn Nachmittags 4^h 10′.
Dauer wie bei allen Steigversuchen 12′.
Menge der in 12′ ausgeschiedenen CO_2 **38·20** grm.
Dieser Versuch gelang besser als Versuch 8. Es wurde fast niemals daneben geathmet.

Versuch 10. 26. VIII. 1899. Gornergrat-Station. Ruheversuch.
Morgens 10^h 10′. Puls 76. Resp. 16.
Menge der in 10′ ausgeschiedenen CO_2 **9·21** grm.
Erster Versuch nach Trainirung. (Wohnen auf dem Gornergrat. Besteigung des Breithorns u. s. w. siehe die vorausgeschickten Bemerkungen.)

Versuch 11. 26. VIII. 1899. Gornergrat-Station. Ruheversuch.
Morgens 11^h 15′.
Menge der in 10′ ausgeschiedenen CO_2 **9·27** grm.

Versuch 12. 26. VIII. 1899. Gornergrat. Steigversuch. 3012 m hoch.
Strecke von 135 m, 2 Mal durchlaufen.
Beginn 12^h 8′.
Puls nach 1′ Steigen 136. Resp. 30 bis 34, etwas unregelmässig.
Menge der während 12′ ausgeschiedenen CO_2 **28·20** grm.

Versuch 13. 26. VIII. 1899. Alles wie in Versuch 12.
Beginn 1^h 12′.
Menge der während 12′ ausgeschiedenen CO_2 **28·15** grm.
Athmung während beider Versuche immer noch etwas mühsam.

Versuch 14. 26. VIII. 1899. Gornergrat. 2987 m hoch.
Strecke von 270 m Länge. Einmal durchlaufen.
Beginn 2^h 51′.
Menge der während 12′ ausgeathmeten CO_2 **30·28** grm.

Versuch 15. 26. VIII. 1899. Alles wie in Versuch 14.
Beginn 4^h 10′.
Menge der während 12′ ausgeathmeten CO_2 **30·05** grm.

Versuch 16. 28. VIII. 1899. Ruheversuch.
Morgens 9^h 15′.
Menge der in 10′ ausgeathmeten CO_2 **9·07** grm.

Versuch 17. 28. VIII. 1899. Ruheversuch. Morgens 10^h.
Menge der in 10′ ausgeathmeten CO_2 **9·12** grm.

Versuch 18. 29. VIII. 1899. Brienz. 690 m Höhe. Steigversuch.
19 Procent Steigung. Strecke von 135 m. 2 Mal durchlaufen.
Ueber Puls und Respiration sind weitere Bemerkungen nicht mehr nöthig. (Siehe die Versuche des letzten Jahres.)
Beginn 10^h 30′.
Menge der in 12′ ausgeathmeten CO_2 **27·41** grm.

Versuch 19. 29. VIII. 1899. Brienzer Rothhorn. 2184 m hoch. Steigversuch.
25 Procent Steigung. (Siehe die Versuche des letzten Jahres.)
Strecke von 270 m Länge. Einmal durchlaufen.
Puls und Respiration wie unten.
Beginn 2h 20′.
Menge der in 12′ ausgeathmeten CO_2 **38·65** grm.

Versuch 20. 29. VIII. 1899. Alles wie in Versuch 19.
Beginn 4h 10′.
Menge der in 12′ ausgeathmeten CO_2 **38·93** grm.
Versuch gelungen.

Versuch 21. 29. VIII. 1899. 25 Procent Steigung. Höhe 734 m. Steigversuch (siehe Versuche des letzten Jahres).
Beginn 6h 5′.
Menge der in 12′ ausgeathmeten CO_2 **38·24** grm.

Versuch 22. 30. VIII. 1899. Alles wie in Versuch 21.
Beginn Morgens 7h 2′.
Menge der in 12′ ausgeathmeten CO_2 **38·46** grm.

Versuch 23. 30. VIII. 1899. 19 Procent Steigung. Höhe 690 m. Steigversuch.
Strecke von 135 m Länge. 2 Mal durchlaufen.
Beginn 8h 50′.
Menge der in 12′ ausgeathmeten CO_2 **27·15** grm.

Versuch 24. 30. VIII. 1899. 17·29 Procent Steigung. Höhe 620 m. Steigversuch.
Strecke von 270 m Länge. Einmal durchlaufen.
Beginn 9h 10′.
Menge der in 12′ ausgeathmeten CO_2 **26·45** grm.

Versuch 25. 30. VIII. 1899. Alles wie in Versuch 24.
Beginn 10h 15′.
Menge der in 12′ ausgeathmeten CO_2 **27·04** grm.

— — —

Die eben beschriebenen Versuche, sowohl diejenigen aus dem Jahre 1898 als auch diejenigen aus dem Jahre 1899, lassen sich in Ruhe- und Arbeits- oder Steigversuche scheiden.

Einer jeden dieser Gruppen, die wir gesondert betrachten wollen, schicke ich eine Tabelle voraus, welche die wichtigsten Ergebnisse übersichtlich enthält, und beginne mit der Betrachtung der Ruheversuche.

Tabelle der Ruheversuche.

Nummer	Tag	Zeit	Ort	Barom.	Therm. ° C.	Hygrom.	Athmungs-dauer in Minuten	CO_2-Aus-scheidung in grm	Mehr-ausscheidung oben in grm
1. Versuche des Jahres 1898 (Brienz [570 m] — Rothhorn [2252 m]).									
1	1. IX.	10h 5′	Brienz	719·9	19·0	85	8	7·31	
2	1. „	1h 10′	Rothhorn	585·0	15·0	75	8	7·93	0·62
3	2. IX.	8h	Brienz	720·4	18·0	82	10	9·45	
4	2. „	11h 30′	Rothhorn	588·0	19·0	75	10	9·86	0·41
5	3. IX.	9h 10′	Brienz	720·4	21·0	55	10	9·68	
6	3. „	12h	Rothhorn	590·0	19·5	60	10	9·80	0·12
7	3. IX.	12h 35′	Rothhorn	590·0	19·5	60	15	15·42	
8	10. IX.	9h	Brienz	717·1	24·0	50	10	8·07	
9	10. „	12h	Rothhorn	588·0	24·0	50	10	8·13	0·06
2. Versuche des Jahres 1899 (Bern [460 m] — Gornergrat [3038 m]).									
1	19. VIII.	10h 10′	Bern				10	9·18	
2	23. „	11h 30′	Gornergrat				10	8·99	
3	23. „	12h 50′	„	Da das Wetter ganz beständig war, waren genaue Bestimmungen von Barom., Therm. und Hygrom. unnöthig			10	9·41	0·02
4	26. VIII.	10h 10′	Gornergrat				10	9·21	
5	26. „	11h 15′	„				10	9·27	
6	28. „	9h 15′	Bern				10	9·07	
7	28. „	10h	„				10	9·12	0·145

Bei den Versuchen am Brienzer Rothhorn constatirte ich durchweg eine, wenn auch geringe, Steigerung der CO_2-Ausscheidung in der Höhe; bei den diesjährigen Versuchen am Gornergrat fand ich diese Differenz noch geringer, ja in einem Versuche war sogar eine Minderausscheidung oben vorhanden.

Bevor wir die Ursache dieses verschiedenen Verhaltens zu ergründen suchen, wollen wir uns fragen, ob der von mir gefundenen geringfügigen Zunahme der CO_2-Ausscheidung in der Höhe überhaupt Werth beizulegen sei.

Temperatur- und Feuchtigkeitsunterschiede der Luft können für diese Differenz nicht verantwortlich gemacht werden, da die unregelmässigen atmosphärischen Schwankungen keine Beziehungen zum Stoffwechsel verrathen. Die beinahe constante, aber minimale Mehrausscheidung der CO_2 in der Höhe kann also nur durch den Unterschied der Luftdichte veranlasst sein, wenn man sie nicht uncontrolirbaren Versuchsbedingungen zuschreiben will.

Mosso[1] fand die CO_2-Ausscheidung in der Höhe vermindert, Zuntz und Schumburg[2] und ihre Nachfolger fanden sie, wenn auch in verschiedenem Maasse, vermehrt.

Meine Ruheversuche hatten — dies gilt namentlich für die Versuche am Brienzer Rothhorn — vor denjenigen meiner Vorgänger den Vorzug eines raschen und mühelosen Wechsels der beiden Versuchsstationen. Sowohl die Turiner als die Berliner Forscher erreichten ihre oberen Versuchsorte erst nach mehrtägiger Reise und längerem ermüdenden Anstieg. Freilich erreichten sie beträchtlichere Höhen; doch war meine Versuchsstation auf dem Gornergrat hoch genug, um die Höhendifferenz für den Organismus merklich werden zu lassen.

Freilich lagen gerade bei diesen Experimenten die zu vergleichenden Versuche zeitlich weiter aus einander (4 Tage) und dieser Umstand sowohl wie die Unregelmässigkeit der Athmung in der Höhe von 3000 m mag das weniger constante Verhalten meiner diesjährigen Resultate erklären. Meine Versuche zeigen aber doch mit Bestimmtheit, dass eine Verminderung der CO_2-Ausscheidung bei Ruheathmung in der Höhe, wie sie Mosso annimmt, nicht statthat, dass dagegen eine Vermehrung derselben möglich, jedenfalls aber sehr geringfügig ist.

Wegen der gefundenen Kohlensäurewerthe ist noch zu bemerken, dass sie ebenso wie diejenigen Gruber's und Schnyder's viel höher sind als die von unseren Vorgängern angegebenen und allgemein angenommenen.

[1] A. a. O. [2] A. a. O.

1. Steigversuche im Jahre 1898 am Brienzer Rothhorn. Strecke von 270 m. 1 Mal durchlaufen. Bei allen Versuchen Arbeitsdauer 10 Min., Arbeitspausen 2 Min., Athmungszeit 12 Min. (Dies gilt auch für die anderen Tabellen.)

Tag	Zeit	Höhe des Versuchsortes in m	Barom.	Therm. ° C.	Hygrom.	CO_2-Aussch. in grm	Mehrausscheid. ob. in grm	Bemerkungen
4. IX.	4h 10′	2184	590·0	21	35	42·93		
4. „	6h 5′	734	720·0	21	30	39·12	3·81	
7. IX.	3h 55′	2184	588·0	25	40	46·25		Nach 3täg. Aufenth. in Bern
7. „	5h 55′	734	716·1	26	45	39·37	6·88	
8. IX.	9h 5′	734	717·7	19	35	39·24		
8. „	12h 10′	2184	588·0	18	40	42·54	3·30	
9. IX.	4h	2184	587·5	21	30	40·51		
9. „	5h 55′	734	715·1	20	30	35·31	5·20	
13. IX.	3h 50′	2184	584·0	18	70	34·03		N. 3täg. Trainir. in d. Höhe
13. „	5h 50′	734	715·9	20	85	33·95	0·08	

2. Am Brienzer Rothhorn im Jahre 1899, nach Trainirung auf dem Gornergrat.

Tag	Zeit	Höhe des Versuchsortes in m	CO_2-Ausscheidung in grm	Mehrausscheidung oben in grm	Bemerkungen
29. VIII.	2h 20′	2184	38·65		Man sieht, dass die Zahlen in diesem Jahre höher sind als die im letzten Jahre nach Trainirung erhaltenen
29. „	4h 10′	2184	38·93		
29. VIII.	6h 5′	734	38·24		
30. „	7h 2′	734	38·46	0.42	

3. Untere Strecke 19, obere 19·3 Proc. Steigung, je 135 m, 2 Mal durchstiegen.

21. VIII.	11h 50′	690	29·75		Versuche in untrainirtem Zustand
23. „	2h 30′	3012	32·52	2·77	
26. VIII.	12h 8′	3012	28·20		Nach Trainirung
26. „	1h 12′	3012	28·15		
29. VIII.	10h 30′	690	27·41		
30. „	8h 50′	690	27·15	0·895	

4. Untere Strecke 17·29 Proc., obere 19·3 Proc., je 270 m, 1 Mal durchstiegen.

21. VIII.	2h 10′	620	31·11		Vor Trainirung
21. „	3h 40′	620	30·84		
23. VIII.	3h	2987	33·92 [1]		
23. „	4h 10′	2987	38·20	5·085	
26. VIII.	2h 51′	2987	30·28		Nach Trainirung
26. „	4h 10′	2987	30·05		
30. VIII.	9h 50′	620	26·45		
30. „	10h 15′	620	27·04	3·420	

[1] Athemnoth zwang zu einigen Athmungen im Freien.

Pro 1 Min. schied ich demnach im Mittel CO_2 aus: ruhend 0·945 grm.

		1898		1899			
In Höhen von etwa:		2000	700	3000	600	3000 ($^2/_3$ Weg)	700 m ($^2/_3$ Weg)
Steigend	untrainirt	3·58	3·19	3·0	2·6	2·71	2·45 grm
	trainirt	2·83	2·83	2·51	2·2	2·33	2·27 „

Da mein Körpergewicht sammt Bepackung 108 kg betrug, leistete ich auf den verschiedenen Strecken durch Höhenüberwindung folgende Arbeit:

Neigung der Strecke in Proc.	Ueberwundene Höhe in m	Geleistete Arbeit in kgm
17·29	46·00	4968·0
19·0	50·40	5443·2
19·3	51·16	5525·28
25·0	65·5	7074·0

Hiernach würde ich pro 1000 kgm (1 kgkm) Arbeitsleistung an Kohlensäure ausgeschieden haben:

Jahr	Höhe des Ausgangsortes in m	Neigung der Strecke in Proc.	CO_2-Ausscheidung pro kgkm Arbeit in grm		Bemerkungen
			untrainirt	trainirt	
1899	620	17·29	6·08	5·30	
1899	2987	19·3	6·66	5·45	
1899	690	19·0	5·14	5·01	Zwei Mal durchlaufene Halbstrecken
1899	3012	19·3	5·78	5·09	
1898	734	25·0	5·41	4·79	
1898	2184	25·0	6·05	4·81	
1899	734	25·0	—	5·42	
1899	2184	25·0	—	5·48	

Wenn ich dagegen die durch Horizontalbewegung des Körpers geleistete Arbeit dazurechnen würde, so änderten sich diese Zahlen wesentlich. Nach Marey's Berechnungsweise würde ich in der Horizontalbewegung pro Schritt 12·96 kgm Arbeit leisten. In 600 Schritten leistete ich also 7776 kgm Arbeit. Das ist allerdings kein absolut sicherer Werth, da ich genauere Bestimmungen über die Art meines Ganges auf ebenem und steilem Terrain nicht vorgenommen habe. Immerhin mögen die folgenden Zahlen zeigen, wie ein solcher Zuschlag die resultirende Arbeitsleistung etwa vergrössern würde. Den immer gleich bleibenden Werth von 7776 kgm addire ich zu den anderen Arbeitswerthen und erhalte dann folgende Tabelle:

Neigung der Strecke in Proc.	Arbeit durch Höhenüberwindung in kgm	Arbeit durch Horizontalbewegung in kgm	Totale Arbeitsleistung in kgm
17·29	4968	7776	12744
19·0	5443	7776	13219
19·3	5525	7776	13301
25·0	7074	7776	14850

Berechne ich die pro 1000 kgm Arbeitsleistung ausgeschiedene Kohlensäuremenge nach diesen Zahlen, so erhalte ich folgende Tabelle:

Jahr	Höhe des Ausgangsortes in m	Neigung der Strecke in Proc.	CO_2-Ausscheidung pro kgkm Arbeit in grm		Bemerkungen
			untrainirt	trainirt	
1899	620	17·29	2·430	2·103	
1899	2987	19·3	2·711	2·268	
1899	690	19·0	2·251	2·063	Zwei Mal durchlaufene Halbstrecken
1899	3012	19·3	2·445	2·117	
1898	734	25·0	2·576	2·286	
1898	2184	25·0	2·899	2·305	
1899	734	25·0	—	2·381	
1899	2184	25·0	—	2·383	

Alle diese Zahlen zeigen in übereinstimmender Weise, dass man bei genau gleicher und unter denselben Bedingungen ausgeführter Steigarbeit auf Bergen mehr CO_2 ausscheidet als in der Ebene, und zwar ist dieser Unterschied schon in einer Höhe von 2252 m (Barometerdruck 585 bis 590) merklich, wo ausgesprochene Bergkrankheit noch nicht vorzukommen pflegt.

Nach A. Loewy's Untersuchungen im pneumatischen Cabinet sollte ein vermehrter Gaswechsel, gleichzeitig mit Zunahme des respiratorischen Quotienten, erst bei etwa 4000 m Höhe (entsprechend einem Barometerdruck von 440 mm Hg) beginnen. Schon die Arbeiten von N. Zuntz und Schumburg, dann aber auch diejenigen von A. Loewy und seinen Mitarbeitern zeigten, dass die Verhältnisse auf den Bergen mit denjenigen im pneumatischen Cabinet nicht vergleichbar sind, insofern als schon auf Bergen mässiger Höhe (also bei höherem Luftdrucke als im Cabinet) deutliche Zunahme des Gaswechsels zu constatiren sei.

Die Kohlensäureausscheidung durch die Athmung scheint nach meinen Beobachtungen, die hierin von denjenigen der genannten Forscher abweichen, schon in relativ geringer Höhe einen Maximalwerth zu erreichen. Sie war in einer Höhe von 3037 m nicht grösser als in einer Höhe von 2252 m,

Ferner fand ich auf dem Gornergrat, wie die Tabelle zeigt, die Werthe der ausgeathmeten Kohlensäuremengen mehr schwankend, als auf dem niedrigeren Brienzer Rothhorn. Diese interessante Inconstanz verdient genauere Untersuchung.

Meine Versuchsanordnung ermöglichte zum ersten Male, den Einfluss der Bergtrainirung auf den respiratorischen Gaswechsel in verschiedenen Höhen sicher zu stellen.

Gewöhnung an die Höhe wurde schon oft genug beobachtet, soweit sie die in der Höhenluft auftretenden Störungen des Wohlbefindens betrifft. A. und J. Loewy und Zuntz[1] berichten auch, „dass Zuntz nach mehrtägiger Höhentrainirung auf der Gnifettihütte (3620 m) bei Körperruhe und pro 1 kgm Arbeit weniger O verbrauchte, als früher auf dem Col d'Olen (2840 m)". Aber erstlich sind die gefundenen Zahlen durchaus nicht beweisend, da die Schwankungen des O-Verbrauches pro 1 kgm Arbeit bei den zu verschiedener Zeit am gleichen Orte (Col d'Olen) vorgenommenen Versuchen grösser sind, als die Differenz zwischen den am Col d'Olen und an der Gnifettihütte erhaltenen Durchschnittswerthen. Zweitens beweist eine solche allmähliche Verminderung des O-Verbrauches in der Höhe, so lange nicht nachher noch einmal an der tiefer gelegenen Versuchsstation Vergleichsversuche angestellt worden sind, nur die alte, von Gruber wie auch von Zuntz gefundene Thatsache, dass mit der Trainirung der respiratorische Gaswechsel abnimmt.

Ich habe sowohl meine Versuche am Brienzer Rothhorn, als auch diejenigen am Gornergrat nach dreitägiger Trainirung in der Höhe wiederholt, und wenn auch die so erzielte Gewöhnung nicht weit genug fortgeschritten war, um den zwischen oben und unten bestehenden Unterschied ganz aufzuheben, so verminderte sie ihn doch in erheblichem Grade.

Ich mache im Weiteren speciell noch auf diejenigen Versuche aufmerksam, in denen ich, statt eine 270 m lange Strecke ein Mal zurückzulegen, zwei Mal eine halbe Weglänge: von 135 m überwand, und in denen daher zwischen dem ersten und zweiten Arbeitsabschnitte während des langsamen Hinuntersteigens zum Ausgangsorte eine etwa 5 Minuten dauernde Erholung stattfand. In solchen Versuchen schied ich regelmässig weniger CO_2 durch die Athmung aus, als in den anderen Experimenten, obwohl die Arbeitsleistung die gleiche war.

Die von N. Zuntz und Hagemann am steigenden Pferde constatirte Thatsache, dass der Gasverbrauch pro 1 kgm Arbeit mit der Steilheit des Weges zunimmt, konnte ich für den Menschen bestätigen. In den Versuchen auf den Strecken von 25 procent. Steigung wurde pro Arbeitseinheit

[1] A. a. O. S. 527.

mehr CO_2 ausgeschieden, als in den Versuchen auf den Strecken von 19- und 17procent. Steigung.

Während meiner Experimente am Brienzer Rothhorn, in grösserem Maasse noch am Gornergrat, konnte ich die bekannten Allgemeinerscheinungen der Bergkrankheit beobachten.

Puls- und Athmungsfrequenz wurden täglich genau bestimmt. Sie nahmen im Allgemeinen in der Höhe zu, doch zeigten sich auch hierin auf dem Gornergrat starke Schwankungen. Gleich bei unserer Ankunft in der Höhe von 3038 m waren Puls und Athmung bei mir und bei meinem Gehülfen sogar bedeutend verlangsamt, um nach einer Viertelstunde Aufenthalt daselbst, ohne dass wir uns irgendwie angestrengt hätten, abnorm frequent zu werden.

Während meines dreitägigen Aufenthaltes in dieser Höhe verloren sich diese Schwankungen allmählich, ebenso das anfänglich starke Beklemmungsgefühl, das wohl die Hauptursache meiner Schlaflosigkeit war.

Auffallend war die Mühe, die alle ungeübten Reisenden der Gornergratbahn hatten, die kurze Strecke von der Station zu dem 100 m höher gelegenen Hotel zurückzulegen. Das Gleiche — nur in geringerem Grade — sah ich am Brienzer Rothhorn bei den Leuten, die vom Hotel zum Signal hinaufstiegen.

Diese auffällige Zunahme der Athmungsbeschwerden bei körperlicher Arbeit in der Höhe konnte ich schliesslich am besten an mir selbst bei meiner Besteigung des Walliser Breithorns constatiren. Nachdem ich bis in eine Höhe von 3750 m ohne sonderliche Beschwerden gelangt war, befiel mich hier nach wenig Schritten Anstieg jedes Mal so heftig Herzklopfen und Athemnoth, dass ich eine Weile ausruhen musste. In allen Fällen genügte eine ganz kurze Pause, um mich vollkommen zu erholen. Dies geschah zufälliger Weise unfern dem Plateau, auf dem Kronecker[1] und Sahli im Jahre 1894 ihre bekannten Beobachtungen über die Bergkrankheit angestellt hatten.

Die hauptsächlichen Ergebnisse meiner Arbeit lassen sich in folgende Sätze zusammenfassen:

1. Der respiratorische Gaswechsel des ruhenden Menschen nimmt in der Höhe nur unerheblich zu.

2. Die gleiche Arbeit steigert in der Höhe den respiratorischen Gaswechsel mehr als am Fusse des Berges.

[1] H. Kronecker, *Ueber die Bergkrankheit mit Bezug auf die Jungfraubahn.* Gutachten zum Concessionsgesuch. Zürich 1894.

3. Durch Trainirung in der Höhe wird der respiratorische Gasaufwand des Bergsteigers derart gemindert, dass gleiche Steigarbeit am Gipfel wie am Fusse des Berges dieselbe Kohlensäure-Ausscheidung veranlasst.

Meine Versuche bilden somit eine neue Bestätigung der Beobachtungen Cushny's und Schnyder's, welche zuerst nachgewiesen haben, dass Arbeit unter ungewohnten Bedingungen, die eine grössere Anstrengung erfordert, den durch CO_2-Ausscheidung gemessenen Stoffumsatz vermehrt, dass dieser Zuwachs aber durch Uebung vermindert wird. Ebenso wie in den Versuchen meiner Vorarbeiter durch lange Ruhe oder schwächende Krankheit der Aufwand für eine bestimmte Arbeit vermehrt wurde, fand ich Aehnliches bei Arbeit auf beträchtlichen Höhen, an die man sich noch nicht durch längeren Aufenthalt daselbst gewöhnt hatte. Es ist nicht möglich, die dort vermehrte CO_2-Ausathmung aus einer durch den verminderten Luftdruck vermittelten vollkommeneren Entgasung des Lungenblutes zu erklären, da eine solche Mehrausgabe nur ganz vorübergehend sein könnte. Meine Resultate sind nicht anders zu erklären, als durch die Annahme, dass bei ungeübten Bergsteigern die CO_2-Bildung, nicht nur die CO_2-Ausscheidung in der Höhe zunimmt.

Dies Resultat ist vielleicht geeignet, uns über das Wesen der Bergkrankheit einigen Aufschluss zu geben. Jedenfalls spricht es nicht für Mosso's Theorie, die eine Kohlensäureverarmung (Akapnie) des menschlichen Organismus in der Höhe annimmt.

Hrn. Prof. Dr. Kronecker, auf dessen Anregung und unter dessen Leitung ich diese Versuche ausgeführt habe, spreche ich für sein unermüdliches Interesse und thatkräftiges Mitwirken, die mir die vielen Schwierigkeiten meiner Arbeit überwinden halfen, meinen wärmsten Dank aus.